

## 単向導電性境界面における漏洩波に関する研究

著者	徳丸 仁
号	138
発行年	1967
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/8874">http://hdl.handle.net/10097/8874</a>

氏 名 ( 本 籍 )	徳 丸 仁 ( 愛媛県 )
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 1 3 8 号
学 位 授 与 年 月 日	昭和 4 3 年 3 月 2 6 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研 究 科 専 門 課 程	東北大学大学院工学研究科 ( 博士課程 ) 電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	単向導電性境界面における漏洩波に関する研究
	( 主査 )
論 文 審 査 委 員	教授 西田 茂穂 教授 喜安 善市 教授 虫明 康人 助教授 米山 務

## 論 文 内 容 要 旨

単向導電性境界面とはその上に誘起する電流が面上である定められた方向にしか流れないような境界をいう。このような異方性境界上での電磁界の条件は境界上での導電性の方向を  $u$  , それに直交する方向を  $v$  で与えておくならば

$$E_u : \text{境界上で } 0$$

$$E_v, H_u : \text{境界の上下で連続}$$

となる。この種の境界面の研究はかなり古く、多くの人々により研究されている。しかしながらこれらの研究は単一の単向導電性境界についてである。そこでこのような境界の複合構造に関する研究が考えられる。この論文ではこの複合構造について研究を進めている。この結果このような構造には LEAKY WAVE が伝送されえるということを指摘している。そしてこの LEAKY WAVE の性質、特にこの LEAKY WAVE の界を知ればこれからこの構造

における放射界の性質を評価できることについて具体的に検討を加えている。この事実は LEAKY WAVE の伝送される構造をアンテナとして利用するときの解析，あるいはバタンの合成に非常に有用なことからである。

さて単向導電性境界面と云っても色々存在するため，この論文ではそれらの中で UNIDIRECTIONALLY CONDUCTING SCREEN (以下 U.C. Screen と略す。) と SHEATH HELIX の二つを選んで，この複合構造について研究している。前者は波長に比べて充分小さな間隔で並べられた導線で作られたすだれ，後者は波長に比べて充分密巻きにされた多重らせんを意味している。ここで導電性の方向が  $u$  軸である。これらの複合構造とその座標系を図 1, 2 に示す。ここでそれぞれの構造において二つの境界面はそれぞれ異なった  $u$  軸を持たせている。(二枚の U.C. Screen ではそれぞれ  $x$  軸と  $\alpha$ ,  $-\alpha$  の角をなしている。二重 SHEATH HELIX においては外側のピッチ角を  $\varphi$  とし内側のピッチ角を  $\alpha$  としている。) 以下論文の章に従って説明してゆく。第 1 章は総論である。

第 2 章は二枚の U.C. Screen (図 1) を線電流源

$$J = \underline{y} \delta(x) [\delta(z-d) \pm \delta(z+d)] \quad l/2 > d \geq 0 \quad (1)$$

で励振する問題を扱っている。そして理論的にこの構造に LEAKY WAVE が伝送されえることを示し，この LEAKY WAVE と放射界の関係，すなわち LEAKY WAVE から放射界を評価することができることを理論的に示している。まず初めにこのような構造における界は理論的に解けるため，この構造に伝送される波の横伝搬定数決定式は

$$S(\kappa) = \sin^2 \alpha \cos \frac{1}{2} \kappa l + j(\kappa/k)^2 \cos^2 \alpha \sin \frac{1}{2} \kappa l = 0 \quad (2)$$

$$A(\kappa) = j \sin^2 \alpha \sin \frac{1}{2} \kappa l + (\kappa/K)^2 \cos^2 \alpha \cos \frac{1}{2} \kappa l = 0$$

と求められる。これを解くことからこの構造に LEAKY WAVE が伝送されえることが示され，その伝搬定数の一例は図 3 で与えられる。

LEAKY WAVE と放射界の関係は一般的には複雑となるので，例えば波源を  $J = \underline{y} \delta(x) \delta(z)$  とした場合について考える。このとき界表示は  $z \geq l/2$  のとき

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} = \frac{j\omega\mu}{4\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}-j\infty}^{\frac{\pi}{2}+j\infty} e^{-j\kappa R \cos(\theta-\varphi)} \times \frac{\sin(\frac{1}{2}\kappa l \cos \varphi)}{S(\kappa \cos \varphi)} \begin{pmatrix} \sin \alpha \cos \alpha \\ \cos^2 \alpha \\ -\cos^2 \alpha \\ \cos^2 \varphi \\ -\sin \alpha \cos \alpha \\ \sin \varphi \cos \varphi \end{pmatrix} d\varphi \quad (3)$$

となり，放射界は円柱座標表示で

$$\begin{pmatrix} E_R \\ E_\theta \\ E_y \end{pmatrix} = \frac{j\omega\mu}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sin(\frac{kl}{2}\cos\theta)}{S(k\cos\theta)} \begin{pmatrix} 0 \\ \sin\alpha \cos\alpha \cos\theta \\ -\cos^2\alpha \cos^2\theta \end{pmatrix} \frac{e^{-j(kR-\frac{\pi}{4})}}{\sqrt{kR}} \quad (4)$$

と与えられる。一方(3)の極から発生するU.C. Screen上に存在するLEAKY WAVE界からKIRCHHOFF-HUYGENSの公式を用いてLEAKY WAVEの放射界を求めると

$$\begin{pmatrix} E_R \\ E_\theta \\ E_y \end{pmatrix} = \frac{-j\cos\alpha \kappa \sin\frac{\kappa l}{2}}{\sqrt{2\pi} \omega \epsilon k S(\kappa)} \frac{k\cos\theta + \kappa}{k^2 - \kappa^2 - k^2 \sin^2\theta} \begin{pmatrix} 0 \\ -\kappa \sin\alpha \\ \kappa \cos\alpha \end{pmatrix} \frac{e^{-j(kR-\frac{\pi}{4})}}{\sqrt{kR}} \quad (5)$$

となる。ここで $\kappa$ は $S(\kappa) = 0$ の根(図3)である。

以上二つの放射界を比較したのが図4である。これからLEAKY WAVEの放射界から真の放射界が非常によく近似されることが示される。このことがLEAKY WAVEの伝搬定数を知れば放射界を評価できるという理論的根拠になる。そして議論を進めると，放射界のビームの方向 $\theta_M$ ，半値巾 $\theta(\frac{1}{2})$ は

$$\begin{aligned} \theta_M &= \sin^{-1}(\bar{\beta}/k) \\ \theta(\frac{1}{2}) &= \sin^{-1} \frac{\bar{\beta} + \bar{\alpha}}{k} - \sin^{-1} \frac{\bar{\beta} - \bar{\alpha}}{k} \end{aligned} \quad (6)$$

のように簡単な表示で近似されることがわかる。ここで $\bar{\alpha}$ ， $\bar{\beta}$ はそれぞれLEAKY WAVEの減衰定数と位相定数であり，

$$\bar{\beta} - j\bar{\alpha} = (k^2 - \kappa^2)^{\frac{1}{2}} \text{で与えられる。}$$

さてこの構造には表面波も伝送されるためこれについても一節をもうけて検討を加えている。

第3章は図1と同一の構造を線磁流源

$$M = y \delta(x) \{ \delta(z-d) \pm \delta(z+d) \} \quad (7)$$

で励振したときの界についてU.C. Screen上のLEAKY WAVEと放射界の関係についての理論と実験の対比である。この結果第2章で述べた理論がこの章で実験的に裏づけられる。ここでは無限大の広さを持つU.C. Screenや一様な線磁流源が実現できないため，できるだけ理論に近い構造をとり，約 $6.5\text{cm} \times 7.5\text{cm}$ の広さに銅線をはりめぐらしたものを2枚利用，線磁流源としてはビルボックスアンテナを使用した。この構造における放射界のビームの方向，巾の測

定値が図5である。ここで実線は理論値であり(6)から計算したものである。磁流源で励振したときもそこに励振される LEAKY WAVE の横伝搬定数は(2)から決定されるが、ここで理論と実験を比較している波は  $A(\kappa)=0$  から決定される最低次の LEAKY WAVE についてである。この結果から理論と測定値はよく一致しており、U.C. Screen 上に存在する LEAKY WAVE から放射界が評価できることについて実験的にも裏づけられたことになる。

第2章と第3章で扱ったものでは構造上電波は2枚の U.C. Screen の両面に放射される。そこで第4章では2枚の U.C. Screen をグラウンド板上に配置した構造について、その上に伝送される LEAKY WAVE と表面波の横伝搬定数を計算している。このことは実用上において、放射ビームの一方方向化の目的のためにも、また理論的にはこの構造は等価的に二つの LEAKY WAVE 構造の結合に関する問題に関係して重要と考えられるものである。

第5章においては少し具体的な構造として2重 SHEATH HELIX (図2)を選び、これに伝送される周方向に一樣な界を持つ LEAKY WAVE を利用した LEAKY WAVE アンテナについて理論と実験から研究している。すなわちこの構造に伝送される周方向に一樣な界を持つ LEAKY WAVE の横伝搬定数決定式

$$[J_1(cK)H_1^{(2)}(K) - J_1(K)H_1^{(2)}(cK)]J_1(K) + T^2 J_1(cK)J_0(K)H_0^{(2)}(K)K^2 = 0 \quad (8)$$

(ここで  $K = b\kappa$ ,  $c = a/b$ ,  $T = \tan\alpha/kb$ )

を導びき、これからこの構造をアンテナとして利用したときの諸特性を理論的に計算している。図6はこの構造のアンテナのビームの方向、巾についての理論値と実験値の比較である。ここで実験においては内側 SHEATH を誘電体棒上に巻き固定している。このことを考えあわせれば理論と実験はよく合っていると云える。次に内側 SHEATH のピッチ角をアンテナ上の各点で変化させたテーパピッチ構造のアンテナについて研究し、これについても良好な結果をえている。

また2重 SHEATH HELIX 構造を実用に供するときにはそれらをなんらかの方法で固定しなければならないが、ここではそれらを誘電体で保持することについても検討している。またこの構造は全体方向に一樣な放射パターンを持つため、これを一方方向化したビームにするための案として2重 SHEATH 構造にセクターをつけた構造についても言及している。

第6章は結論である。

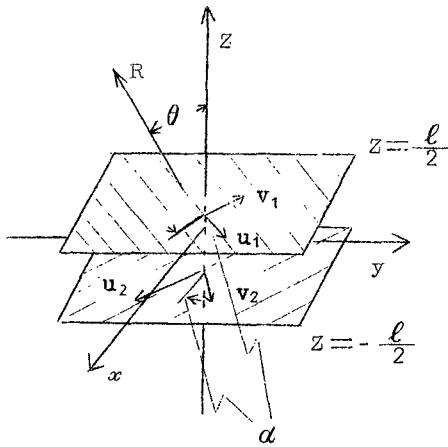


図1 2枚のU.O.Screen とその座標のとり方

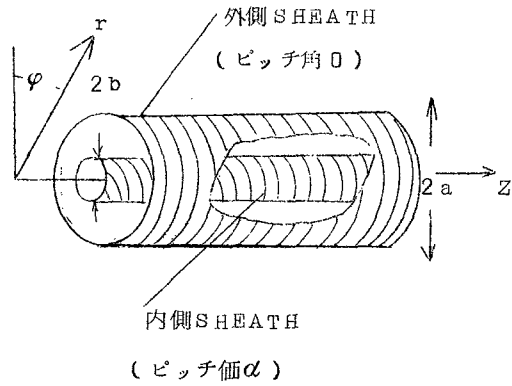


図2 2重SHEATH HELIX とその座標のとり方

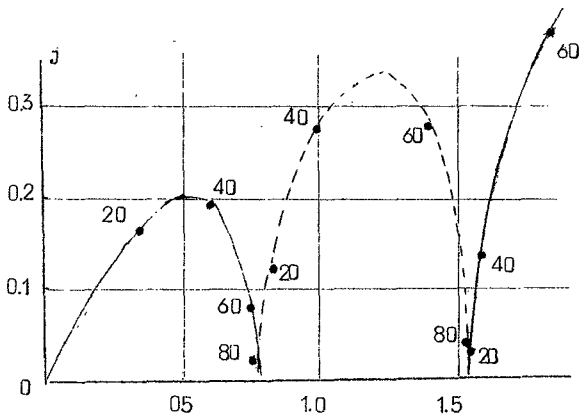


図3 複素面上における横伝搬定数  $K/k$  の軌跡；  $k_1 = 2\pi \times 0.65$ ，曲線上の放値は  $\alpha$  の値 ( $^\circ$ ) を示す。

$$S(\kappa) = 0 \text{ の根}$$

$$A(\kappa) = 0 \text{ の根}$$

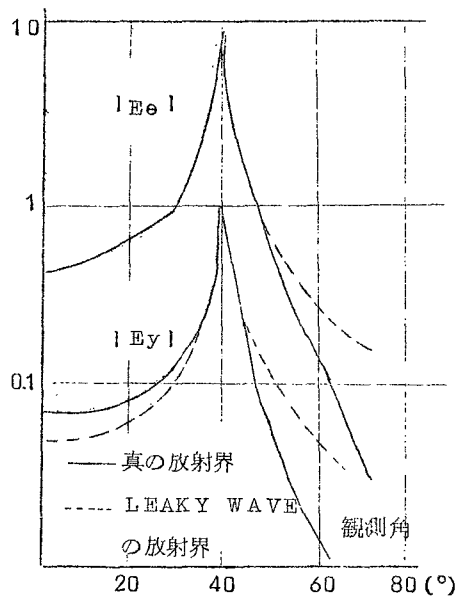


図4 LEAKY WAVE の放射界と真の放射界の比較；  $k_1 = 2\pi \times 0.65$ ， $\alpha = 80^\circ$

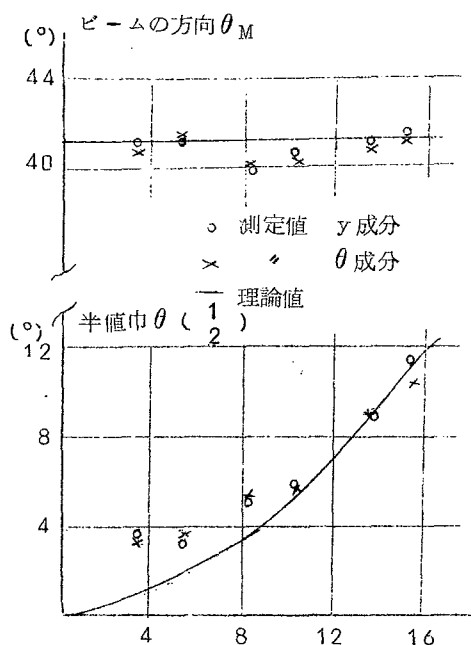


図5 導電性の方向 $\alpha$ とビームの方向,  
巾の関係;  $l=2.1\text{ cm}$ ,  $f=9.6\text{ GHz}$

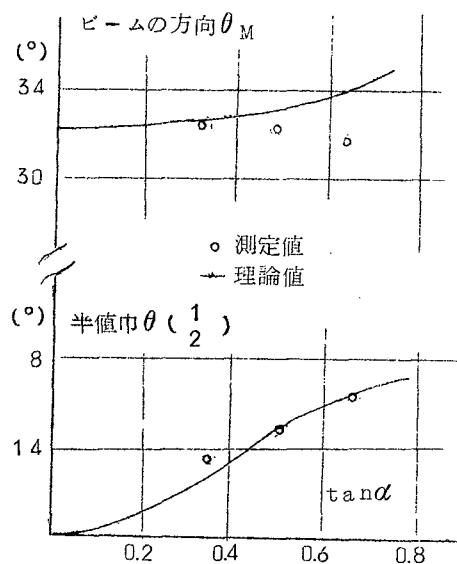


図6 ビームの方向と半値巾;  $a=2.5\text{ cm}$ ,  
 $b=0.5\text{ cm}$ ,  $f=9.6\text{ GHz}$  内側  
SHEATH は誘電体棒 ( $\epsilon_g=2.3$ ) に  
巻いている。

## 審 査 結 果 の 要 旨

特定のモードで電力を伝送する線路に、僅かずつ電力が漏洩する構造を設けた漏洩線路は一種の進行波型アンテナとなる。このアンテナは放射ビームの特性を広い範囲に制御することのできる点で実用上有用である。この場合、放射ビームの特性は漏洩線路に存在する漏洩波と密接な関係があり、放射ビームの特性の制御は漏洩波の特性の制御によって可能である。この観点から著者は、漏洩波を実現する新しい方法として、単向導電性境界面によって伝送路を構成することを提案し、この伝送路に存在する漏洩波の特性を明らかにし、しかもその特性の制御が容易に行われること、したがってアンテナとしての放射特性の制御が容易に行われることを示した。

従来の漏洩波アンテナでは、その構造の点から、漏洩波の厳密な解が得られず近似理論によって解析されてきた。しかし著者の提案する構造のアンテナでは漏洩波の厳密な解が得られ、しかも実用上有用なアンテナが得られる点に大きな意義がある。

本論文は6章よりなり、第1章は緒論である。第2章では平行な2枚の単向導電性平板によって作られる伝送路を提案し、この伝送路について厳密な解析を行い、漏洩波の存在を証明してその制御の方法について論じている。またこの伝送路に生ずる放射ビームを計算してこれと漏洩波との関連を検討している。第3章では線磁流源によって励振される同じ線路について論じている。この場合は実際に製作が可能であって、理論で得られる漏洩波特性および放射特性を実測の結果と対比してその正当性を確認している。第4章では同じ構造の伝送路を完全導体板の上に適当な間隔で配置した場合について論じている。これは単一のビームを得る一つの実用的な方法である。第5章では円錐型の放射ビームを得るための方法として単向導電性円筒を同軸に2個を配置した構造の円筒型伝送路について論じている。実用的には二重のヘリカル・シースによって実現できるもので、この場合にも漏洩波が存在し、その制御も容易であって広い範囲にわたって放射ビームの制御が可能であることを示している。さらにこれをアンテナとして実用した場合の副ローブの減少、周波数特性および円筒支持の問題など実用上の問題点を詳細に検討している。なおこの場合にも実際にアンテナを製作してその放射ビーム特性を測定し、理論の正当性を確認している。第6章は結論である。

以上要するに、本論文は単向導電性境界を用いた新しい型の漏洩伝送路を提案し、漏洩波の特性および制御の方法を明らかにし、実用的価値のある漏洩波アンテナを提示したもので、電波工学に寄与するところが少なくない。

よって本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。